Ein Beitrag zu den Untersuchungen der Entladung im Stickstoff, Wasserstoff und Sauerstoff

Verkürzte Fassung der

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der philosophischen Doktorwürde vorgelegt der hohen philosophischen Fakultät der Universität Basel

von

Heinrich Hoffschlag

aus Lünten, Kreis Ahaus i. Westf.

Borken
Buchdruckerei Bläser & Rehms
1923

Herrn Heinrich Hoffschlag wurde von der mathem.-naturwissenschaftlichen Abteilung der philosophischen Fakultät der Universität Basel erlaubt, eine verkürzte Fassung seiner Inaugural-Dissertation drucken zu lassen. Die vollinhaltliche Arbeit kann eingesehen und entliehen werden:

1. In dem math.-phys. Seminar der Universität Basel.
2. In der Universitätsbibliothek Basel.
3. In der Schweiz. Landesbibliothek Bern.

Genehmigt von der mathem.-naturwissenschaftlichen Abteilung der philosophischen Fakultät auf Antrag der Herren Prof. Dr. W. Matthies und Prof. Dr. A. Hagenbach.

Basel, den 8. Juli 1919.

Prof. Dr. H. Zörnig,
Dekan.

Ein Beitrag zu den Untersuchungen der Entladung im Stickstoff, Wasserstoff und Sauerstoff

Verkürzte Fassung der

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der philosophischen Doktorwürde vorgelegt der hohen philosophischen Fakultät der Universität Basel

von

Heinrich Hoffschlag

aus Lünten, Kreis Ahaus i. Westf.

Borken

Buchdruckerei Bläser & Rehms

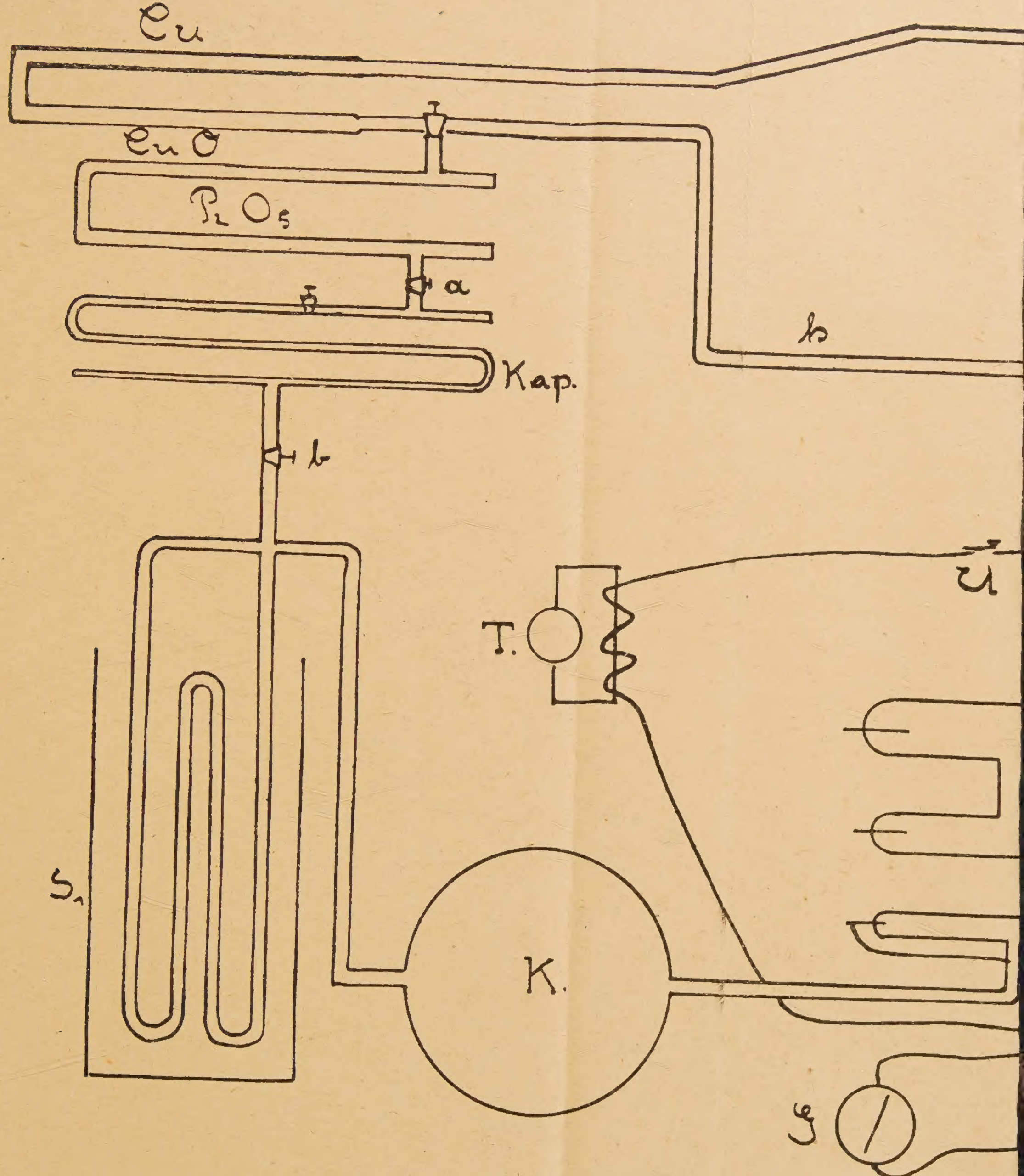
1923

Literatur.

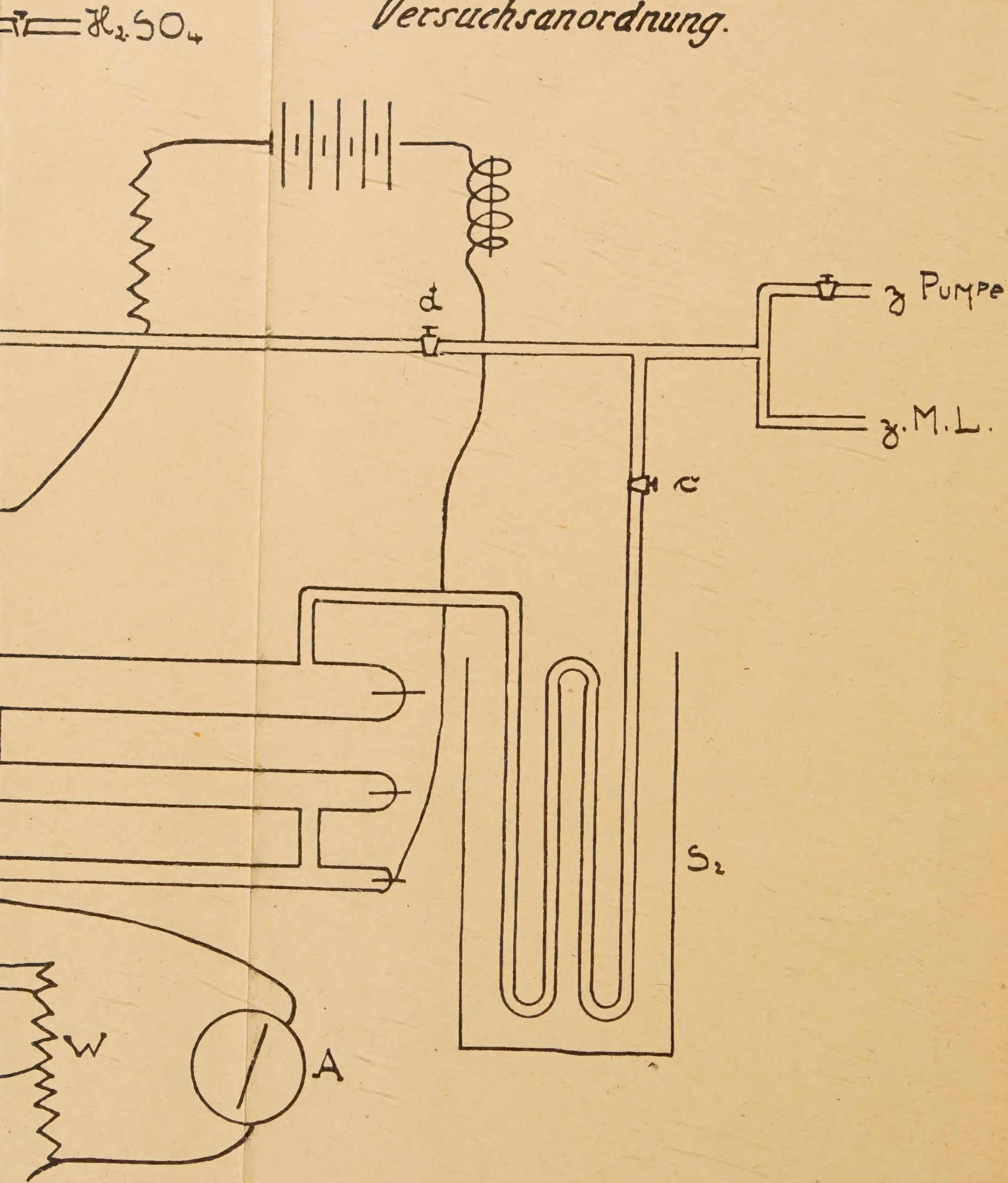
1. O. Lehmann: „Elektrische Lichterscheinungen, Halle 1898".
2. J. Stark: „Die Elektrizität in Gasen, Leipzig 1908"
3. J. R. Seeliger: „Zeitschrift für Radioaktivität und Elektronik" Band 7 1910.
4. E. C. Baly. Phil. Mag. 35 p. 200, 1893.
5. Fischer. Diss. Göttingen 1909.
6. Gehlhoff. Verhandl. d. Deutsch. Phys. 14. p. 906. 1912.
7. Gehrke. Ann. Phys. 15. p. 509. 1904.
8. Goldstein. Berl. Ber. 1881 p. 876.
9. Grove. Proc. Roy. Soc. 1852.
10. Holm. Gött. Abh. No. 6 1008.
11. Holm. Gött. Nachr. 6. p. 50. 1908. Phys. Z. S. 9. p. 558. 1908.
12. Kost. Diss. Göttingen 1915.
13. Morren. Phil. Mag. 55. 1893.
14. Neubert. Phys. Z. S. 15. p. 430. 1914.
15. Pentscheff. Phys. Zeitschr. S. 7. p. 463. 1906.
16. Rieke. Gött. Nachr. 1904 526.
17. Stuchtey. Phys. Z. S. 4. p. 871. 1903. Diss. Bonn 1904.
18. J. J. Thomson. Ph. M. (5) 47, 263, 1899; 50, 282, 1900.
19. Wehner. Ann. Phys. 32. p. 49. 1810 u. Ann. Phys. 22. p. 49. 1910
20. Wiedemann. W. A. 57, 458, 1896.
21. Willows. Proc. Cambr. Soc. 10. p. 302. 1900.
22. Leipziger Berichte 65. p. 73. 1913.
23. Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. 4. p. 4. 1902.

Problemstellung.

Die Entladungserscheinungen in verdünnten Gasen haben zu den mannigfachsten Untersuchungen nach den verschiedensten Richtungen hin Veranlassung gegeben. Eine Unmenge von Arbeiten beschäftigt sich mit der Lösung der Frage, was ist Ursache und Grund für das Auftreten der Schichten in der positiven Glimmlichtsäule bei der Entladung in verdünnten Gasen. Eine einwandfreie Lösung dieser Frage ist bisher noch nicht gefunden. Trotz der zahlreichen, bisher angestellten Untersuchungen zur Klärung dieser Frage sind die Ansichten maßgebender Physiker auf diesem Gebiete nach wie vor geteilt. Von manchen Forschern wird das Auftreten der Schichten in der positiven Säule auf Verunreinigungen des betreffenden Gases zurückgeführt. Andere sprechen neben den Verunreinigungen der Gefäßwand des Entladungsrohres einen wesentlichen Einfluß auf die Ausbildung der Schichten zu. Die meisten Physiker jedoch sind der Ansicht, daß bei einzelnen Gasen speziell bei den hier in Frage stehenden in bestimmten Strom- und Druckintervallen stets eine Schichtung des positiven Glimmlichtes auftritt, daß diese keineswegs ihren Grund in zufälligen Verunreinigungen oder den Wandungen des Beobachtungsrohres hat, sondern, daß diese Schichtung innerhalb bestimmter Strom- und Druckintervalle um so deutlicher und um so intensiver auftritt, je reiner das Gas ist. Die verschiedene Stellungnahme zu dieser Frage beweist, daß in der Erforschung dieser Erscheinung noch manche Lücken vorhanden sind. Diese möglichst restlos auszufüllen, ist zunächst Zweck und Ziel der vorliegenden Arbeit. Die hier in dieser Hinsicht angestellten Untersuchungen erstrecken sich auf das Aussehen der positiven Glimmlichtsäule bei Endladungen im Stickstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Als sich bei jeder Versuchsvariation herausstellte, daß innerhalb gewisser Strom- und Druckintervalle stets eine Schichtung der positiven Säule sowohl im Stickstoff wie im Wasserstoff als auch im Sauerstoff auftrat, wurde anschließend versucht eine Abhängigkeit homologer Schichtabstände festzustellen 1) von der Stromstärke, 2) vom Druck, 3) vom Rohrquerschnitt und endlich 4) von der Entfernung von der Kathode.


Cu
CuO
P₂O₅
a
b
Kap.
b
T.
S₁
K.
g

Versuchsanordnung.



Versuchsanordnung.

Die Untersuchungen zur Lösung der gestellten Aufgabe sind angestellt und durchgeführt in drei vertikal übereinander angebrachten Geißlerröhren, deren Querschnitte zwischen 1,5 und 35,0 cm ^{2} variierten, und die durch kurze Zuleitungsrohre von etwa 2 cm Weite in Verbindung standen. Bei dieser Anordnung konnten die einzelnen Untersuchungen gleich nach einander in den drei verschiedenen Beobachtungsrohren für die verschiedensten Stromstärken bei gleichem Druck und derselben Gasfüllung angestellt und verfolgt werden. Gleichzeitig war hiermit eine Vergrößerung des Volumens erzielt, und damit eine Herabminderung der Druckänderung auf Grund des Austrittes absorbierter und okkludierter Gase aus den Elektroden und Gefäßwänden gegeben. Demselben Zwecke dienten eine mit diesen Beobachtungsrohren in direkter Verbindung stehende Kugel K mit etwa 2000 cm ^{3} Inhalt und die beiden Kühlvorrichtungen S1 und S2 zu beiden Seiten des Beobachtungssystems. Diese Kühlvorrichtungen waren derart angebracht, daß nach Belieben zu jeder Zeit eine Kühlung mit flüssiger Luft ermöglicht war. Auf diese Weise wurden die eventuell im Gas vorhandenen Fettdämpfe sowie die Quecksilberdämpfe, die aus dem Mc-Leod herüber drangen, zur Condensation gebracht und aus den Beobachtungsrohren fern gehalten. Weder Hähne noch Schliffe waren zwischen diesen beiden Kühlvorrichtungen angebracht. Um die Gefahr der Verunreinigung des Gases durch Fettdämpfe möglichst auszuschalten, wurde weiter darauf geachtet, daß die unbedingt notwendigen Hähne und Schliffe stets nur leicht gefettet waren. Zur Einfettung derselben diente selbsthergestelltes, stark eingedampftes „Ramsayfett“.

Vor der Kühlvorrichtung S1 befanden sich die Vorkehrung zur Regulierung der Gaszufuhr und gleich anschließend die Reinigungs- und Trocknungsanlagen, bestehend aus den beiden Verbrennungsrohren Cu und CuO und einem Phosphorpentoxydrohr P_2O_5. Die Zufuhr des Gases wurde reguliert durch eine enge, etwa 1 Mtr. lange Kapillare, in die zwei Hähne eingeschmolzen waren, womit die Zufuhr des Gases äußerst fein und genau reguliert werden konnte.

Die Kühlvorrichtung S2 auf der anderen Seite der Beobachtungsrohre stand durch eine Glasrohrleitung in Verbindung mit dem Mc-Leod und der Gaedepumpe. Diese Glasrohrleitung war versehen mit einer Sperrvorrichtung um zu verhindern, daß während der Zeit, in der nicht gearbeitet wurde, Quecksilberdämpfe in die Beobachtungsrohre drangen. Weiterhin war durch das Verbindungsrohr h dafür gesorgt, daß die Reinigungs- und Trocknungsanlagen für sich allein evakuiert werden konnten. Die Verunreinigungen, die sich in diesen Anlagen befanden, brauchten somit bei der Evakuierung des Rohrsystems die Beobachtungsrohre nicht passieren, sondern konnten direkt in die Pumpe entfernt werden.

Als Elektrodenmaterial kam ausschließlich Platin und Aluminium zur Verwendung. Cylinderische Vollstäbe aus Aluminium dienten in allen Fällen als Kathoden, bei denen je nach dem Querschnitt des

Beobachtungsrohres der Durchmesser zwischen 2 mm und 10 mm und die Länge zwischen 4 cm und 10 cm variierte. Die Verwendung anderer Metalle als Kathode erwies sich wegen ihrer starken Zerstäubung und der damit verbundenen Spiegelbildung an den Glaswänden als höchst ungeeignet, da durch den Metallspiegel die Beobachtungen sehr beeinträchtigt wurden, und der Strom schließlich nicht mehr an der Kathode, sondern am Spiegel einsetzte. Die Aluminiumkathoden lagen in eng anliegenden Glasrohren und waren mit dünnen Platindrähten verschweißt, die durch die Glaswand nach außen führten. Als Anoden dienten Hohlcylinder aus Platin von etwa 3 bis 5 cm Länge und 0,1 bis 0,3 mm Weite.

Auf die Reinigung der Elektroden und Gefäßwände wurde die denkbar größte Mühe und Sorgfalt verwendet. Tagelang wurden dieselben bei gleichzeitiger Erwärmung mittels des elektrischen Stromes mit reinem Gas gespült. Zwischendurch wurde der Strom auf zeitweilig 120×10^{-3} Amp. gesteigert und gleich darauf das ganze Rohrsystem bis auf etwa 0,001 mm Hg evakuiert.

Als Elektrizitätsquelle wurde eine Hochspannungsbatterie in ständiger Serienschaltung mit der 440 Voltnetzspannung der Stadtleitung benutzt. Die im Maximum zur Verfügung stehende Spannung betrug annähernd 2700 Volt. Jodkadmium- und Schniewindt'sche Asbestwiderstände, die so aufgestellt waren, daß sie sowohl schnell hintereinander wie parallel geschaltet werden konnten, dienten zur Regulierung der Stromstärke. Zur Kontrolle der Kontinuität des Stromes war ein mit dem Stromkreis induktiv gekoppeltes Telephon eingeschaltet, und eine in den Stromkreis eingebaute Selbstinduktion diente zur Erhöhung der Stabilität der Entladung.

Die Stromstärke wurde gemessen mit Hilfe zweier gut gegen Erde isolierter Meßinstrumente, eines Milliamperemeters A und eines Deprez-d'Arsonval Galvanometers G. Das Milliamperemeter lag direkt im Stromkreis zwecks momentaner Orientierung über die Höhe der jeweiligen Stromstärke. Zur exakten Messung derselben diente das Galvanometer, das sich im Nebenschluß zu einem Präzisionswiderstande befand. Es war geeicht nach der Kompensationsmethode unter Bezugnahme auf das Westen Normal Element. Die Empfindlichkeit wurde reguliert mittels eines Stöpselrheostaten.

Die Höhe des jeweiligen Druckes wurde ermittelt mit Hilfe eines sehr sorgfältig geeichten Mc-Leod Monometers. Infolge gleicher Weite der Kapillaren war eine Depression nicht zu berücksichtigen. Da weiterhin dafür gesorgt war, daß stets auf solche Meßmarken eingestellt werden konnte, die zwischen den Quecksilberkuppen in den Kapillaren einen Niveauunterschied von zirka 100 mm ergaben, kann die Festlegung des jeweiligen Druckes, die zudem zweimal sowohl direkt vor wie nach jeder einzelnen Untersuchung erfolgte, mindestens auf 1 % genau angesprochen werden.

Die Ermittelung der einzelnen Schichtabstände geschah auf photogrammetrischem Wege. Die Kamera, die zur Aufnahme der Entladungen benutzt wurde (Format 9×12), befand sich in 1,5 Mtr. Entfernung von dem Rohrsystem. Bei konstantem Druck wurden verschiedene Entladungen (in der Regel 6 bis 8) unter Steigerung der Stromstärke gleich

hintereinander durch die Beobachtungsrohre geschickt und photographiert. Die Ausmessung der Photogramme wurde durchgeführt auf einer Teilmaschine der Société genèvoise mit Hilfe eines Mikroskopes, das mit einem Fadenkreuz versehen war, und passender Wahl von Vorsatzlinsen. Gerade diese Messungen wurden mit der peinlichsten Sorgfalt nach den verschiedensten Methoden durchgeführt. Sie wurden an verschiedenen Tagen wiederholt.

Die Versuchsanordnung zeigt gleichzeitig die Anlage zur Trocknung und Reinigung der Gase. Bei der vorliegenden Arbeit kam es vor allem darauf an, die Untersuchungen in Gasen von möglichst hohem Reinheitsgrade durchzuführen. Ammoniakdämpfe, die auf Grund der Stickstoffgewinnung möglicherweise zugegen sein konnten, wurden durch stark konzentrierte Schwefelsäure absorbiert. Diese diente gleichzeitig auch zur vorläufigen Trocknung des Gases. Die Beseitigung des Wasserstoffs und des Sauerstoffs im Stickstoff erfolgte in den beiden Verbrennungsrohren Cu und CuO. Das Cu-Rohr war stets gefüllt mit frisch reduziertem metallischen Kupfer, das CuO-Rohr mit Kupferoxyd. Beide Rohre mit Inhalt waren stets auf Rotglut erhitzt. Die letzten Spuren von Feuchtigkeit wurden beseitigt beim Passieren des P_2O_5-Rohres, das etwa 1 Mtr. lang und so stark mit Phosphorpentoxyd gefüllt war, daß das Gas nur äußerst langsam hindurch strömen konnte. Stickstoff-Sauerstoffverbindungen, die auf Grund der Herstellungsmethode in erster Linie im Stickstoff vorhanden sein konnten, haben nach den Wehner'schen Untersuchungen auf die Schichtbildung in der positiven Glimmentladung keinen Einfluß. Der Wasserstoff wurde größtenteils auf elektrolytischem Wege gewonnen nach dem vor kurzem von Gaede angegebenen Gegenstromprinzip. Der Herstellungsapparat war bei den Untersuchungen im Wasserstoff direkt mit dem Cu-Rohr verschmolzen. Getrocknet wurde der Wasserstoff mit P_2O_5. Der Sauerstoff mußte, bevor er in das Beobachtungssystem gelangte, zur Reinigung und Trocknung das Gefäß mit konzentrierter Schwefelsäure, das glühende CuO-Rohr und das P_2O_5-Rohr passieren. Er war hergestellt auf trockenem Wege aus Kaliumpermanganat.

Untersuchungen im Stickstoff.

Die vorliegenden Untersuchungen beziehen sich zunächst einzig und allein darauf, festzustellen, ob die Schichtung in der positiven Glimmentladung auf im Gas vorhandene Verunreinigungen zurückzuführen ist oder nicht. In der Entscheidung dieser Frage glaubte man auf folgendem Wege zu einer möglichst einwandfreien Lösung zu gelangen. Der Stickstoff, der zu den Untersuchungen benutzt wird, darf nicht stets nach derselben Methode hergestellt sein, sondern die Versuche sind auszudehnen auf Stickstoff verschiedenen Ursprunges und in einer Anzahl von Beobachtungsrohren mit verschiedenen Querschnitten zu wiederholen. Deshalb wurden die Untersuchungen in vier verschiedenen Beobachtungsrohren durchgeführt, deren Querschnitte 1,5, 9,08, 15,9 und 35,0 cm^2

betrugen. Die Elektrodenabstände waren in den einzelnen Rohren nahezu konstant. Gleichzeitig war hiermit die Möglichkeit gegeben, einen Ueberblick zu gewinnen über den Einfluß der Rohrweite auf die Schichtbildung. Der Stickstoff wurde hergestellt aus Merk'schen Präparaten und zwar aus 1. $(NH_4)_2 NO_3 + KNO_2 + K_2Cr_2O_7$ 2. $(NH_4)_2NO_3 + KNO_2$ 3. $(NH_4)Cl + KNO_2 + K_2Cr_2O_7$ und 4. aus $(NH_4)Cl + KNO_2$.

Um aus den Elektroden und Gefäßwänden möglichst alle Spuren von Verunreinigungen zu entfernen, wurden dieselben tage- ja mitunter wochenlang mit reinem Gas gespült und erwärmt. Von Zeit zu Zeit wurden die Elektroden sogar auf Rotglut erhitzt. Schon bald beobachtete man in den einzelnen Beobachtungsrohren, daß nach jeder Stromunterbrechung ein prächtiges Nachleuchten auftrat, das J. R. Strutt auf einen sogenannten aktiven Stickstoff zurückführt und als Beweis eines sehr hohen Reinheitsgrades des Stickstoffs ansieht. Nach weiterer Spülung und Erwärmung der Elektroden und Gefäßwände verschwand dieses Nachleuchten und statt dessen stellte man eine herrliche, bläuliche Fluoreszens fest. Das Aussehen der Entladung war in diesem Stadium des Reinheitsgrades des Stickstoffs bei niedrigen Stromdichten ein orangerotes, bei höheren ein gelblich-weißes. Bei diesen Untersuchungen, die im Grunde noch mehr als Vorarbeiten anzusprechen sind, stellte sich heraus, daß unabhängig von der Herstellungsart des Gases sowie unabhängig vom Rohrquerschnitt im Stickstoff unter bestimmten Bedingungen nämlich in bestimmten Strom- und Druckintervallen stets eine Schichtung der positiven Glimmentladung auftrat.

Mit der genauen Festlegung dieser Strom- und Druckintervalle in dem nach den vier verschiedenen Arten hergestellten Stickstoff beschäftigen sich zunächst die folgenden Untersuchungen. Soll nämlich tatsächlich die Schichtbildung auf Verunreinigungen zurückzuführen sein, was eben von vielen Forschern angenommen wird, so ist anzunehmen, was später auch durch besonders angestellte Untersuchungen bewiesen wird, daß der jeweilige Schichtungsbereich geradezu ein Kriterium für den entsprechenden Reinheitsgrad des betreffenden Gases ist. Es wurden deshalb für die einzelnen Stickstoffarten in den verschiedenen Rohrquerschnitten genau die Uebergangspunkte mittels äußerst exakter Regulierung von Druck- und Stromstärke von der geschichteten zu der ungeschichteten Säule ermittelt. Hierbei wurde eine Entladung als ungeschichtet angesehen, wenn sich keinerlei Struktur- und Intensitätsunterschiede längs der ganzen positiven Glimmlichtsäule bemerkbar machten. Bei all diesen Untersuchungen ergab sich stets trotz der verschiedenen Stickstoffarten derselbe Schichtungsbereich, der allerdings für jeden Rohrquerschnitt ein anderer war und mit Zunahme des Querschnittes wuchs. Wie durch spätere Untersuchungen in Stickstoff-Wasserstoffgemischen zur Bestimmung des quantitativen Einflusses verschiedener Reinheisgrade des Stickstoffs auf die Schichtbildung ermittelt wurde, ergab sich mit Abnahme der Verunreinigungen im Stickstoff ein immer kleinerer

Schichtungsbereich, der schließlich in möglichst reinem Stickstoff eine ganz bestimmte Grenze annahm. Diese Tatsache und die eben erwähnten Beobachtungen lassen folgende Schlüsse zu. Die verschiedenen Gassorten müssen entweder vollständig rein gewesen oder es muß stets derselbe Prozentgehalt an Verunreinigungen vorhanden gewesen sein. Gerade letzteres ist aber bei der verschiedenen Herstellungsweise des Stickstoffs kaum anzunehmen. Hinzu käme noch, daß aus den Glaswänden und aus den Elektroden im Falle völlig reiner Gasverhältnisse an sich sowohl im Anfang als am Schluß der Untersuchungen, wo die Elektroden doch mit Stickstoff gesättigt waren, stets eine gleiche Menge an Verunreinigungen hätte heraustreten müssen, oder im andern Falle, wenn noch nicht der höchste Reinheitsgrad des Gases erreicht war, daß die Menge sämtlicher Verunreinigungen sowohl der noch im Gas eventuell vorhandenen als auch der aus den Elektroden und Gefäßwänden frei werdenden hätte stets konstant sein müssen. Die Schlußfolgerung, daß eine Schichtung der positiven Säule in reinem Stickstoff in bestimmten Strom- und Druckintervallen auftritt, und daß dieselbe nicht durch zufällig vorhandene Verunreinigungen hervorgerufen wird, erscheint somit voll und ganz berechtigt. (Siehe die Tabelle 1.)

Bezüglich des Schichtungsbereiches in den verschiedenen Rohrquerschnitten ergeben die ermittelten Daten, daß der Schichtungsbereich eine Funktion des Rohrquerschnittes und in hohem Maße von demselben abhängig ist. Er ist um so größer, je größer der Querschnitt ist. Weiterhin ergeben die Daten, daß der Schichtungsbereich in jedem Rohr ein Maximum besitzt. Bis zu bestimmten Drucken und Stromstärken nimmt der Schichtungsbereich immer mehr und mehr zu, um später bei weiterer Steigerung derselben wieder, wenn auch nur verhältnismäßig wenig, abzunehmen. Betreffs dieser Maxima läßt sich für die verschiedenen Rohrquerschnitte die folgende Gesetzmäßigkeit ableiten. Werden die in den Maximis vorhandenen Stromdichten und Drucke als die kritischen bezeichnet, so ergibt sich für den Quotienten aus diesen kritischen Werten für die verschiedenen hier zur Untersuchung benutzten Rohrquerschnitte ein nahezu konstanter Wert.

Zur Bestimmung des quantitativen Einflusses verschiedener Reinheitsgrade des Stickstoffs auf die Schichtbildung, auf deren Ergebnisse schon kurz hingewiesen ist, sind Untersuchungen angestellt in Stickstoff-Wasserstoffgemischen, die aus verschiedenen Volumprozenten beider Gase bestanden. (Tab. 2.) Nach derselben Methode wie vorher wurden auch hier für die einzelnen Mischungen die Stromstärken mit den zugehörigen Drucken ermittelt, bei denen die geschichtete in die ungeschichtete Entladung überging. Die auf Grund der ermittelten Daten konstruierbaren Kurven ergeben, daß mit Abnahme des Wasserstoffzusatzes der Schichtungsbereich immer kleiner und kleiner wird bis er zum Schluß in reinem Stickstoff eine ganz bestimmte Grenze annimmt. Weiter ließ sich bei diesen Beobachtungen feststellen, daß der Schichtungbereich in ein und demselben Rohrquerschnitt für Wasserstoff stets größer ist als für Stickstoff, und daß die Schichten um so klarer und intensiver auftreten je reiner das Gas ist, sei es Stickstoff an der einen Grenze oder Wasserstoff an der anderen.

Diese Untersuchungen bestätigen somit, daß der Schichtungsbereich im Stickstoff sowohl wie im Wasserstoff geradezu ein Kriterium darstellt für den Reinheitsgrad des Gases, und daß die Verunreinigungen keineswegs die Schichtbildung begünstigen. Im Gegenteil! Die Verunreinigungen sind im höchsten Maße hinderlich für eine klare und deutliche Ausprägung der Schichten in der positiven Glimmentladung.

Damit sind die von Kost und Wehner gefundenen Resultate bestätigt, daß nämlich im Stickstoff in bestimmten Strom- und Druckintervallen stets eine Schichtung der positiven Glimmentladung auftritt, und daß dieselbe keineswegs auf Verunreinigungen zurückzuführen ist. Es blieb nur die Möglichkeit übrig, daß schon die allergeringsten, spektroskopisch nicht mehr nachweisbaren Spuren an Verunreinigungen allein diese enorme Wirkung besitzen. Auf Grund der mit Hilfe der graphischen Auswertung des Zahlenmaterials angestellten theoretischen Betrachtungen ist dieses jedoch kaum anzunehmen. Von Kost und Wehner scheint diese Möglichkeit auch direkt widerlegt zu sein.

Bestätigt wird dieses Resultat durch eine weitere Beobachtung, die erst beim Abschluß der vorliegenden Untersuchungen bei Ermittelung der einzelnen Schichtabstände gemacht wurde. In einem Rohr, in dem lange Beobachtungen über die Entladung der positiven Glimmlichtsäule im Wasserstoff angestellt waren, in dem also die Elektroden mit Wasserstoff gesättigt sein mußten, wurde gleich anschließend ein Kontrollversuch für Stickstoff angestellt. Solange sich der Wasserstoff spektroskopisch in der Entladung nachweisen ließ, beobachtete man verschwommene Vorhöfe vor den einzelnen Stickstoffschichten. Die Vermutung lag nahe, daß diese Vorhöfe hervorgerufen waren von den Wasserstoffspuren, die aus den Elektroden frei wurden. Die Richtigkeit dieser Vermutung ergab sich bei der späteren Ausmessung der Abstände dieser Vorhöfe, die ergab, daß die Ausmessungsresultate dieser Schichtabstände mit den im reinen Wasserstoff ermittelten genau übereinstimmten. Auch hier konnten bei weiterer Reinigung der Elektroden und Gefäßwände die Vorhöfe ganz beseitigt werden, und schließlich trat auch hier in bestimmten Strom- und Druckintervallen ebenfalls ein einfaches aber scharf ausgeprägtes Schichtsystem auf.

Schließlich wurde auch versucht mit Hilfe strömenden Stickstoffs zu einer Lösung der vorliegenden Frage zu gelangen. Gehlhoff ist der Ansicht, daß ganz minimale Spuren an Verunreinigungen vollständig zur Schichtbildung ausreichen. Als solche sollen die aus den Elektroden und Gefäßwänden frei werdenden Verunreinigungen voll und ganz genügen. Da die Schichtung der positiven Glimmentladung immer zuerst im Scheitel der Säule auftritt und sich auch hier am längsten hält, wurde zur Untersuchung des Einflusses der Verunreinigungen auf die Schichtbildung, die eventuell aus den Elektroden und Gefäßwänden frei werden, folgende Versuchsvariation gewählt. Man ließ das Gas einmal von der Anodenseite her in das Beobachtungsrohr einströmen und kurz vor dem äußersten Kathodenende absaugen, sodaß die aus der Kathode frei werdenden Verunreinigungen direkt mit dem Gas-

strom fortgerissen wurden, ohne vorher Gelegenheit zu haben, bis zum Scheitel der Säule vorzudringen. Dann passierte das Gas in umgekehrter Richtung das Beobachtungsrohr. Die aus der Kathode frei werdenden Verunreinigungen mußten in diesem Falle die ganze positive Glimmlichtsäule passieren, da das Gas erst an der Anode das Beobachtungsrohr verließ. In beiden Fällen zeigte sich in bestimmten Strom- und Druckintervallen stets im Scheitel der Säule eine deutliche Schichtung, die sich aber keineswegs in derselben Deutlichkeit und Ausgeprägtheit bis zur Anode hin fortsetzte. Vielmehr war auch hier in bestimmten Intervallen die Säule nur teilweise geschichtet. Gleichzeitig ergab sich, daß bei bestimmten Stromstärken die Schichtung sehr intensiv war, daß sie aber mit Steigerung der Stromstärke immer mehr und mehr zurücktrat. Sollen aber allein die aus den mit peinlichster Sorgfalt gereinigten Elektroden noch eventuell frei werdenden Verunreinigungen ausreichen, die Schichtbildung hervorzurufen, so sollte man annehmen, daß mit Steigerung der Stromstärke die Schichtung nicht allein deutlicher und ausgeprägter, sondern sich auch allmählich immer weiter auf die ganze Säule ausdehnen würde, da wegen der mit Steigerung der Stromstärke Hand in Hand gehenden Erwärmung der Elektroden immer mehr Verunreinigungen aus ihnen heraus gepreßt werden und diese schließlich überall im Rohr und nicht einzig und allein nur im Scheitel der Säule vorhanden sein müßten. Somit erscheinen die geringen Spuren an Verunreinigungen, die vielleicht selbst bei peinlichster Reinigung der Elektroden aus denselben noch frei werden, auf die Schichtbildung in der positiven Glimmlichtsäule im Stickstoff nicht den ausschlaggebenden Einfluß zu besitzen, der ihnen von einigen Forschern zugesprochen wird. Vielmehr ist anzunehmen, daß sich der Reinheitsgrad der Elektroden und Gefäßwände derart steigern läßt, daß keine Verunreinigungen mehr, selbst bei sehr starker Erwärmung derselben, aus ihnen heraustreten. Auf Grund all dieser Untersuchungen besteht die große Wahrscheinlichkeit der hier vertretenen Ansicht, daß auch im reinsten Stickstoff eine Schichtung der positiven Glimmlichtsäule eine charakteristische Erscheinung ist.

Durch gelegentliche Probemessungen verschiedener Schichtabstände innerhalb der positiven Glimmentladung bestätigte sich immer wieder die von Rieke und seinen Schülern vertretene Ansicht, daß der Abstand zwischen den einzelnen Schichten einer geschichteten Entladung keineswegs konstant ist, sondern daß die Abstände mit Aenderung der Stromdichte, des Druckes und des Rohrquerschnittes sehr stark variieren. Mit der Bestimmung des Einflusses dieser verschiedenen Faktoren auf die Größe des Schichtabstandes, beschäftigen sich die folgenden Beobachtungen, zu deren genauen Ermittelung die einzelnen Entladungen photographiert und die Photogramme ausgemessen wurden. Die benutzten Beobachtungsrohre hatten einen Querschnitt von 1,5, 15,9 und 35,0 cm². Die Elektrodenabstände betrugen in derselben Reihenfolge 226,00, 238,45 und 269,90 mm. Die folgenden Untersuchungsergebnisse sind, wenn nicht direkt aus den Tabellen entnommen, aus der graphischen Darstellung der tabellarischen Ergebnisse gewonnen. In

den Tabellen ist „p“ = Druck, gemessen in mm Hg; „I“ = Stromstärke, gemessen in $1 \times 10\ ^{3}$Amp.; „δ“ = mittlerer Stromdichte, gemessen in $1 \times 10\ ^{3}$Amp. pro cm^2; „Q“ = Querschnitt des Entladungsrohres; „c“ = Reduktionsfaktor, mit dem die einzelnen Meßresultate zu multiplizieren sind, um die wirklichen Schichtabstände zu erhalten; „KS“ = Abstand der Kathode vom Scheitel der Säule und endlich „d“ = Schichtabstand, gemessen in mm. Zur Unterscheidung der einzelnen Schichten innerhalb der Säule dienen die Indices. Die erste Schicht im Scheitel der Säule trägt den Index „I“. Auf Grund der folgenden Tabellen und deren graphischer Auswertung ergeben sich die folgenden Resultate.

1. Die einzelnen Schichtabstände nehmen bei den verschiedensten Stromdichten, Drucken und Rohrquerschnitten stets vom Scheitel der Säule zur Anode hin allmählich ab. (Tab. III, IV u. V).
2. Bei konstanter Stromdichte und konstantem Druck sind die homologen Schichtabstände um so größer, je größer der Querschnitt des Entladungsrohres ist.
3. Bei konstantem Druck nimmt unabhängig vom Rohrquerschnitt der Schichtabstand mit Steigerung der Stromstärke zu, um sich bald einem konstanten Grenzwert zu nähern.
4. Unabhängig vom Rohrquerschnitt ist bei konstanter Stromdichte der Schichtabstand um so größer, je niedriger der Druck ist.
5. Bei konstantem Druck ist unabhängig vom Rohrquerschnitt in jedem Beobachtungsrohr der Quotient homologer Schichtabstände für die verschiedenen Stromstärken wenigstens nahezu konstant. (Tab. VI).
6. Sind in einer geschichteten Säule drei Schichtabstände bekannt, so lassen sich die übrigen mit großer Genauigkeit errechnen nach der Formel: $d = d\,\delta\,(1 + c_1/n + c_2/n^2)$.

   Zur Bestimmung dieser Gleichung müssen drei Schichtabstände bekannt sein. c1 und c2 sind Konstante. n gibt die Ordnungszahl des jeweiligen Schichtintervalls an. Das der Kathode am nächsten liegende Intervall trägt die Ordnungszahl 1. (Tab. VII).
7. Der Abstand zwischen der Kathode und dem Scheitel der Säule wächst unabhängig vom Rohrquerschnitt bei konstantem Druck mit Zunahme der Stromdichte. (Tab. IX).
8. Alle diese Feststellungen ergeben sich sowohl im ruhenden wie im strömenden Stickstoff. (Tab. VIII).

Siehe die folgenden Tabellen 1 bis 9.

Q = Rohrquerschnitt
δ = Stromdichte in 1×10 —³Amp (cm²)
p = Druck in mm Hg.

Tabelle I.

Schichtungsbereich im Stickstoff in Röhren von verschiedenem Querschnitt.

Q = 1.5 (cm)²		Q = 9.08 (cm)²		Q = 15.9 (cm)²		Q = 35.0 (cm)²	
o	p	o	p	o	p	o	p
0.115	1.29	0.038	0.67	0.05	0.865	0.03	0.56
0.19	1.85	0.095	1.00	0.067	0.882	0.07	0.66
0.281	2.08	0.158	1.31	0.078	1.00	0.18	0.80
0.338	2.28	0.188	1.35	0.08	0.96	0.27	0.86
0.352	2.30	0.142	1.30	0.123	1.10	0.46	0.895
0.37	2.32	0.84	1.76	0.136	1.12	0.74	0.91
0.436	2.51	0.92	1.77	0.25	1.21	1.17	0.885
0,447	2.53	1.025	1.79	0.4	1.20	1,63	0.69
0.467	2.54	1.07	1.80	0.6	1.31		
0.487	2.55	1.16	1.81	0.613	1.33		
0.572	2.57	1.64	1.84	0.82	1.36		
0.75	2.80	1.98	1.83	1.32	1.39		
1.002	2.83	2.19	1.815	2.2	1.33		
1.27	2.82	2.61	1.70	2.4	1.28		
1.28	2.91			2.58	1.19		
1.29	2.95						
1.98	3.02						
2.84	3.09						
3.62	3.15						
4.40	3.20						
5.65	3.13						
6.90	2.99						
7.045	2.94						
9.19	2.89						
10.81	2.76						
10.85	2.68						

g = Rohrquerschnitt
δ = Stromdichte in 10—³Amp. (cm)
p = Druck

Tabelle II.

Festlegung des Schichtungsbereiches in verschiedenen Stickstoff-Wasserstoffgemischen.

q = 1,5 (cm)²

100 % N_2		67 % N_2		48,8 % N_2		33,4 % N_2		10,2 % N_2		100 % H_2	
o	p	o	p	o	p	o	p	o	p	o	p
0.115	1.29	10.86	1.965	0.186	1.97	0.216	2.21	0.187	2.70	0.14	2.92
0.19	1.85	0.371	2.265	1.018	3.67	0.815	3.75	1.04	5.50	0.192	3.53
0.281	2.08	1.042	3.24	1.65	4.47	1.29	4.82	1.243	5.85	0.287	3.25
0.338	2.28	1.821	4.04	2.58	5.07	1.66	5.84	0,433	3.69	0.389	3.84
0.352	2.30	2.40	4.33					0.965	5.24	0.46	4.92
0.37	2,32									0.59	5.36
0.447	2.53									0.762	5.64
0.467	2.54									0.98	6.26
0.487	2.55									1.316	6.22
0.572	2.57										
0.75	2.80										
1.002	2.83										
1.27	2.87										
1.28	2,91										
1.29	2.95										
1.98	3.02										
2.84	3.09										
3.62	3.15										
4.40	3.20										
5.65	3.13										
6.90	2.99										
7.045	2,94										
9.11	2.89										
10.89	2.76										
10.85	2.68										

Tabelle III.

Ergebnisse der Ausmessung der einzelnen Schichtabstände im Stickstoff.

„d" = Schichtintervall. Die Indices geben an zwischen welchen Schichten der Abstand gemessen wurde. Die der Kathode zunächst liegende Schicht trägt den Index „1". Q = Rohrquerschnitt. i = Stromstärke in 1×10^{-3} Amp. p = Druck in mm Hg. c = konstanter Faktor.

Q = 1.5 (cm)² c = 4.585.

p = 0.33	
i	d_{1-2}
0.99	2.731
3.47	2.849
5.49	2.882
7.40	2.908
9.20	2.915
13.01	2.924

p = 0.423						
i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}	d_{5-6}	d_{6-7}
0.77	2.457					
1.15	2.481					
3.17	2.573					
6.37	2.627	2.065	2.043	2.007	1.967	1.913
7.91	2.637	2.119	2.077			
11.15	2.643	2.142	2.016			

p = 0.592					
i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}	d_{5-6}
0.78	12.00				
0.99	12.32				
3.34	2.235	2.049	1.882	1.839	1.841
7.29	2.276	2.060	1.909	1.867	1.831
9.91	2.291				
15.51	2.301				

Tabelle III.

Schichtabstand im Stickstoff.

$Q = 1.5 \, (cm)^2$ $c = 4.585$

i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}	d_{5-6}	d_{6-7}	d_{7-8}	d_{8-9}	d_{9-10}		d_o	
p = 1:135												
3.168	1.704	1.656	1.620	1.602	1.594	1.588	1.582	1.573	1.566		1.518	
4.632	1.782	1.702	1.673	1.651	1.644	1.636	1.629	1.621	1.613		1.611	
8.936	1.866	1.793	1.757	1.739	1.734	1.727	1.718	1.710	1.706		1.667	
11.900	1.883	1.846	1.806	1.790	1.782						1.684	
13.941	1.956	1.868	1.824								1.714	
20.261												
p = 1.375												
2.592	1.588	1.527	1.512								1.455	
3.247	1.632	1.575	1.550	1.534							1.496	
7.535	1.782	1.674	1.655	1.647	1.641						1.642	
9.630	1.815	1.713	1.694	1.683							1.678	
13.011	1.840	1.740	1.732								1.694	
24.029	1.879											

p = 1.80

i	d_{1-2}
1.975	1.508
3.025	1.579
6.637	1.736
10.845	1.769
20.54	1.791
27.829	1.798

p = 2.03

i	d_{1-2}
1.421	1.348
2.082	1.369
5.691	1.562
10.593	1.657
15.97	1.693

$Q = 1.5\ (cm)^2$ $c = 4.585$

$p = 0.715$

i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}	d_{5-6}	d_{6-7}	d_{7-8}							
0.73	1.936													
1.17	1.971	1.803												
3.35	2.077	1.888	1.813	1.777	1.763	1.757								
8.11	2.141	1.923	1.853	1.813	1.799	1.790								
17.65	2.148													
23.00	2.170	1.973	1.904	1.868	1.850	1.843								

$p = 0.835$

i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}	d_{5-6}	d_{6-7}	d_{7-8}	d_{8-9}	d_{9-10}	d_{10-14}	d_{14-19}	d_{9-22}		d_o
0.711	1.727													
0.971	1.765													
3.282	1.931	1.810	1.760	1.743	1.731	1.722	1.716	1.713		1.673	1.659			1.645
5.92	1.978	1.858	1.804	1.791	1.778	1.770	1.760	1.754	1.741	1.726	1.719	1.719		1.683
8.59	2.005	1.887	1.838	1.822	1.808	1.801	1.790							1.727
19.518	2.026													

$p = 0.975$

i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}	d_{5-6}	d_{6-7}	d_{7-8}	d_{8-9}	d_{9-10}	d_{10-15}	d_{10-22}			
0.754	1.624	1.528												
1.039	1.742	1.709	1.677	1.658	1.649	1.640	1.634	1.627	1.618	1.617				1.590
3.373	1.832	1.744	1.708	1.688	1.679	1.671	1.661	1.653	1.647		1.652			1.640
4.490	1.882	1.808	1.776	1.762	1.748	1.741								1.726
10.673	1.935	1.821	1.793	1.776										1.756
23.70	1.961	1.855	1.825	1.811	1.799	1.793								1.770

Tabelle IV.

Schichtabstand im Stickstoff.

$Q = 15.9\ (cm)^2$

$p = 0.27$ $c = 6.89$

i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}
0.990	3.985			
4.087	4,132	4.098	4.020	3.965
5.677	4.455	4.200	4.113	4.075
9.211	4.568			
12.826	4.741	4.639		
25.21	5.129	5.046		

$p = 0.33$ $c = 4.7$

i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}
4.694	5.436	5.214	1.520	5.169
6.178	5.508	5.335	5.276	5.240
9.856	5.653	5.473	5.421	5.388
5.611	5.822	5.652		
21.488	6.116	5.941		

$p = 0.42$ $c = 4.71$

i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}	d_{5-6}
2.088	4.821	4.729	4.631	4.574	4.554
5.982	5.071	4.936	4.858	4.807	
11.248	5,138	5.004	4.925		
16.448	5.254	5.081	4.978		

$p = 0.50$ $c = 4.71$

i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}
4.464	4.413	4.254	4.991	4.118
5.663	4.520	4.358	4.292	4.216
10.296	4.733	4.574	4.502	4.461
12.962	4.794	4.631	4.564	

$p = 0.21$ $c = 4.71$

i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}
3.606	6.251	5.610	
4.575	6.348	5.715	5.366
6.944	6449	5.822	5.473
13.667	6640	6.018	15.66
18.581	7052		

Tabelle V.

Schichtabstand im Stickstoff.

$Q = 35.0\ (cm)^2$ $c = 4.68$

p = 0.2				p = 0.255			
i	d_{1-2}			i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}
3.802	8.81			4.039	7.813	7.397	7.119
5.147	9.017			5.863	8.025	7.624	7.216
12.454	9.58			10.854	8.425	8.129	
30.951	10.02			31.40	9.055		

p = 0.295				p = 0.40			
i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}
4.039	6.955	6.707	6.346	4.039	6.53		
5.948	7.245	6.981	6.435	5.948	6.83		
11.286	7.730	7.323	6.611	11.808	7.28		
36.11	8.122			41.716	7.79		

Tabelle VI.

Quotient homologer Schichtabstände im Stickstoff bei konstantem Druck u. versch. Stromstärken.

$Q = 1.5\ (cm)^2$

p	i	homologe Schichtabst.	Quotient
1.135	$i_1 = 3.168$ $i_2 = 8.936$	1.656 1.793	0.923
	i_1 i_2	1.620 1.757	0.922
	i_1 i_2	1.602 1.739	0.921
	i_1 i_2	1.594 1.734	0.919
	i_1 i_2	1.588 1.727	0.919
	i_1 i_2	1.582 1.718	0.919
	i_1 i_2	1.573 1.710	0.919
	i_1 i_2	1.566 1.706	0.918
	i_1 i_2	1.782 1.885	0.916

$Q = 1.5\ (cm)^2$

p	i	homologe Schichtabst.	Quotient
0.835	$3.282 = i_1$ $5.920 = i_2$	1.931 1.978	0.971
	i_1 i_2	1.760 1.804	0.975
	i_1 i_2	1.743 1.791	0.973
	i_1 i_2	1.731 1.778	0.973
	i_1 i_2	1.722 1.770	0.973
	i_1 i_2	1.716 1.760	0.975
	i_1 i_2	1.810 1.858	0.974

Tabelle VI.

Quotient homologer Schichtabstände im Stickstoff bei konstantem Druck u. versch. Stromstärken.

$Q = 1.5\ (cm)^2$

p	i	homologe Schichtabst.	Quotient
0.975	$1.039 = i_1$ $3.373 = i_2$	1.742 1.832	0.9509
	i_1 i_2	1.707 1.744	0.9799
	i_1 i_2	1.677 1.708	0.982
	i_1 i_2	1.658 1.688	0.982
	i_1 i_2	1.649 1.679	0.982
	i_1 i_2	1.640 1.670	0.981
	i_1 i_2	1.634 1.661	0.983
	i_1 i_2	1.627 1.653	0.984
	i_1 i_2	1.618 1.647	0.982

$Q = 15.9$

p	i	homologe Schichtabst.	Quotient
0.50	$4.464 = i_1$ $5.663 = i_2$	4.413 4.520	0.976
	i_1 i_2	4.254 4.358	0.976
	i_1 i_2	4.199 4.292	0.976
	i_1 i_2	4.181 4.261	0.972

Tabelle VII.

Berechnung des Schichtabstandes nach der Formel

$$d = d\,\delta \left(1 + \frac{c_1}{n} + \frac{c_2}{n^2}\right)$$

i = Stromstärke in 1×10^{-3} Amp.
p = Druck in mm Hg.

i	p	errechnetes d	beobachtetes d
3.247	1.375	1.521	1.534
3.37	0.975	1.686	1.688
4.63	1.135	1.640	1.651
9.63	1.375	1.683	1.683
11.90	1.375	1.733	1.790
23.7	0.975	1.820	1.811

Tabelle VIII.

Schichtabstand in strömendem Stickstoff.

$Q = 15.9\ (cm)^2$
i gemessen in 1×10^{-3} Amp.
p gemessen in mm Hg.

p = 0.305					
i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}	d_{5-6}
1.657	3.338	3.152			
4.163	3.475	3.370	2.276	3.260	
5.633	3.554	3.470	3.346	3.398	3.328
9.730	3.689	3.568	3.558	3.558	
16.637	3.772	3.594	3.540	3.501	
25.12	3.835	3.623	3.612		
29.156	3.850	3.743	3.656		

p = 0.225					
i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}	d_{5-6}
0.852	1) 3.388	1)			
4.514	2) 3.814	2) 3.652	3.619	3.563	3.543
5.033	3) 3.828	3) 3.700	3.639		
9.904	4) 4.011	4) 3.870	3.862		
17.938	5) 4.298	5) 4.118	4.053		
25.795	6) 4.482	6) 4.301	4.306		

Tabelle IX.

Meßergebnisse für den Abstand der Kathode vom Scheitel der Säule.

K S. = Entfernung zwischen Kathode und Scheitel der Säule.
i gemessen in 1×10^{-3} Amp.
p gemessen in mm Hg. Q = Rohrquerschnitt.

Q = 1.5 (cm)², p = 0.423		Q = 1.5 (cm)², p = 0.715		Q = 1.5 (cm)², p = 1.835		Q = 1.5 (cm)², p = 1.135		Q = 1.5 (cm)², p = 1.80	
i	K S	i	K S	i	K S	i	K S	i	K S
0.776	4.367	0.734	5.993	0.711	5.690	1.975	4.886	1.975	4.886
1.152	4.605	1.174	6.089	0.971	5.623	3.025	4.903	3.025	4.903
3.177	5.904	3.352	6.335	3.282	5.484	6.637	4.911	6.637	4.911
6.377	6.435	8.118	6.437	5.920	5.779	10.854	5.378	10.845	5.378
7.913	6.400	17.956	7.163	8.590	6.286	20.54	5.446	20.54	5.446
11.153	6.273	23.005	7.226	19.518	6.330	27.829	6.342	27.829	6.342

Q = 15.9 (cm)², p = 0.225		Q = 15.9 (cm)², p = 0.305		Q = 15.9 (cm)²		
i	K S	i	K S			
0.582	12.957	1.657	13.515			
4.514	15.189	4.163	14.728			
5.033	15.909	5.633	15.878			
9.904	17.810	9.730	17.487			
		16.637	18.969			
		25.12	20.731			

Untersuchungen im Wasserstoff.

Der Wasserstoff, auf den die vorhin angestellten Untersuchungen ebenfalls ausgedehnt wurden, wurde anfangs hergestellt ans Zink und verdünnter Schwefelsäure. Diese Untersuchungen dürfen jedoch nur als Vorarbeiten angesprochen werden, da es zunächst galt, ein rohes Bild zu gewinnen von dem Aussehen der positiven Glimmentladung im Wasserstoff. Da sich herausstellte, daß auch hier wie im Stickstoff in bestimmten Strom- und Druckintervallen die positive Säule geschichtet war, versuchte man einen Wasserstoff zu gewinnen von möglichst hohem Reinheitsgrade. Der Wasserstoff, auf den sich die hier vorliegenden Beobachtungen beziehen, wurde auf elektrolytischem Wege hergestellt anfangs aus verdünnter Schwefelsäure, später aus Kalilauge, endlich mit Hilfe eines Palladiumrohres. Die Beobachtungsrohre, in denen die hier mitgeteilten Beobachtungen ermittelt sind, hatten einen Querschnitt von 15,9 und 16,66 cm². Die Elektrodenabstände betrugen 239,45 und 423,90 mm. Sehr schön ließ sich bei diesen Untersuchungen beobachten, daß mit zunehmendem Reinheitsgrad der Elektroden und Gefäßwände die Schichtung sich immer intensiver und ausgeprägter gestaltete. Um möglichst schnell zu reinen Gasverhältnissen zu gelangen, wurden die Untersuchungen in dem Rohr von 15,9 cm² Querschnitt, in dem von den früheren Untersuchungen her die Elektroden mit Stickstoff gesättigt waren, unterbrochen und fortgesetzt in einem anderen Beobachtungsrohr von 16,66 cm² Querschnitt, dessen Elektroden noch zu keinerlei anderen Untersuchungen verwendet waren. Vor dem Einschmelzen wurden die Elektroden, wie das auch früher stets geschehen war, stark ausgeglüht.

Bei den Entladungen im Wasserstoff beobachtete man zunächst in der positiven Glimmlichtsäule die bekannten Doppelschichten, von denen die der Kathode zugekehrte ein bläuliches, die andere ein rötliches Aussehen hat. In der Literatur wird das Auftreten dieser Doppelschichten vielfach auf Verunreinigungen zurückgeführt. Hierfür sprechen neben anderen Ermittelungen die Untersuchungen von Kost in Göttingen, dem die Beseitigung dieser Doppelschichten bis zu Stromstärken von etwa 25×10^{-3} Amp. gelingt. Neben diesen Doppelschichten fielen bei diesen Untersuchungen bei Steigerung des Reinheitsgrades des Wasserstoffs noch folgende Erscheinungen auf. In einem gewissen Reinheitsstadium des Gases beobachtete man des öfteren eine herrliche Schichtkreuzung. Die einzelnen Schichten standen nicht mehr senkrecht zur Rohrachse, sondern waren teilweise um einen Winkel von etwa 60°, teilweise um einen Winkel von 120° zu ihr geneigt. Die Schichtkreuze, die nur für Augenblicke vorhanden waren und deren Kreuzungspunkte scheinbar mit der Rohrachse zusammen fielen, rotierten mitunter mit starker Geschwindigkeit um die Rohrachse. Weiterhin machten sich oft Unterschiede in der Struktur der Schichten selbst bemerkbar. Deutlich hob sich dann in jeder Schicht ein besonders heller Punkt von seiner Umgebung ab, die sich mitunter momentan für Bruchteile von Sekunden spiralförmig um die Rohrachse lagerten. Bald darauf beobachtete man, wie sich von der Anode her ein helles, dünnes Lichtbündel, das an

Intensität die der einzelnen Schichten übertraf, in die positive Säule hinein bohrte. Die Intensitätsunterschiede in den einzelnen Schichten selbst waren verschwunden. Am äußersten Ende zum Scheitel der positiven Säule hin war dieses Lichtbündel etwas gekrümmt. Bei ungeschichteter Entladung erstreckte es sich durch die ganze positive Säule. Mit dem Auftreten der Schichten trat es immer mehr und mehr zurück, um im Augenblick, wo die ganze Säule geschichtet wurde, zu verschwinden. Bei teilweiser Schichtung der Säule war es nur bis zum Rande der ungeschichteten Entladung zu beobachten. Soweit sich mit freiem Auge beurteilen ließ, schien sich dieses Lichtbündel zur Anode hin etwas zu verjüngen. Verschwanden die Intensitätsmaxima in den einzelnen Schichten, die wie alle hier mitgeteilten Erscheinungen nur für kurze Zeit scheinbar jeweils in einem ganz bestimmten Reinheitsgrade des Gases auftraten, so traten nach weiterer Steigerung des Reinheitsgrades in den einzelnen Schichträndern die mannigfachsten Farbenringe auf. Fast alle Farben waren vertreten und gingen allmählich in einander über. Deutlich konnte man braune, gelbe, grüne und blaue Ringe unterscheiden, die durch weitere Spülung und starke Erwärmung der Elektroden und Gefäßwände und durch darauf folgende starke Evakuierung des Beobachtungsrohres ebenfalls beseitigt werden konnten. Die einzelnen hier mitgeteilten Erscheinungen scheinen geradezu ein Kriterum abzugeben für den jeweiligen Reinheitsgrad im Wasserstoff. Nach langer Spülung und Erwärmung der Elektroden gelang es im Wasserstoff ebenso wie vorher im Stickstoff ein einfaches Schichtsystem in der positiven Glimmlichtsäule zu erhalten. Bis zu einer Stromstärke von 60×10^{-3} Amp. konnten die Doppelschichten, die Farbenringe und die übrigen Erscheinungen fern gehalten und eine einfache Schichtung erzielt werden. Die Auswertung der folgenden Tabellen ergibt zwischen den einzelnen Komponenten Schichtabstand auf der einen Seite, und Stromdichte, Druck und Rohrquerschnitt auf der anderen Seite die folgenden Gesetzmäßigkeiten.

1. Unabhängig vom Rohrquerschnitt nimmt bei den verschiedensten Drucken und Stromstärken der Schichtabstand vom Scheitel der Säule zur Anode hin allmählich ab. (Tab. 10 und 11).

2. Bei kleineren Drucken bis zu etwa 0,45 mm Hg wächst der Abstand homologer Schichten bei konstantem Druck anfangs mit Zunahme der Stromstärke, um bei genügender Steigerung derselben wieder abzunehmen.

3. In einem Rohrquerschnitt von 16,66 cm^2 schneiden sich die Kurven, die homologe Schichtabstände als Funktion der Stromdichte darstellen, nahezu in einem Punkt. Der Schichtabstand ist bei einer Stromstärke von etwa 8×10^{-3} A für die verschiedensten Drucke annähernd konstant. Unterhalb dieser kritischen Stromstärke ist der Schichtabstand bei konstantem Strom um so größer, je niedriger der Druck ist. Bei größeren Stromstärken dagegen als 8×10^{-3} Amp. ist für eine konstante Stromstärke der Schichtabstand um so größer, je höher der Druck ist.

4. Bei höheren Drucken als etwa 0,45 mm Hg nimmt der Abstand homologer Schichten mit Zunahme der Stromstärke ständig zu. Wie es scheint, nähert er sich auch hier wie im Stickstoff bald einem konstanten Grenzwert.

5. Wie im Stickstoff, so ist auch im Wasserstoff der Abstand homologer Schichten um so größer, je größer der Querschnitt des Entladungsrohres ist.

6. Im Wasserstoff ist ebenso wie im Stickstoff wenigstens bei höheren Drucken der Quotient homologer Schichtabstände nahezu konstant. (Siehe die Tabelle 12).

Tabelle X.

Schichtabstand im Wasserstoff.

$i = 1.10^{-3}$ Amp.
$p =$ mm Hg
$Q = 15.9\ (cm)^2$

p = 0.155					
i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}	d_{5-6}
1.85	6.519	6.251	6.162	6:119	6.071
4.37	6.270	6.006	5.914	5.861	5.825
5.69	6.052	5.785	5.694	5.881	5.606
5.65	5.702	5.452	5.367	5.291	5.264
p = 0.275					
i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}		
5.526	6.501	5.918			
7.654	6.240	5.544	5.372		
12.35	5.492	4.354	4.302		
p = 0.29					
i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}		
0.337	5.225				
1.08	6.468				
1.993	6.605	5.918	5.813		
5.241	6.588	6.049	5.970		
7.350	6.389	5.809	5.777		
11.978	5.791	4.894			

Tabelle XI.

Schichtabstand im Wasserstoff.

$Q = 16.66\ (cm)^2$
i gemessen in 1.10^{-3} Amp.
p gemessen in mm Hg

p = 0.10

i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}	d_{5-6}	d_{6-7}	d_{7-8}	d_{8-9}	d_{9-10}
8.420 14.492 22.42	5.566 5.623 5.685	4.841 4.935	4.233 4.275	4.075 4.152	4.019 4.085	3.982 4.044	3.982 4.044	3.955	3.950

p = 0.25

i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}	d_{5-6}	d_{6-7}	d_{7-8}	d_{8-9}	
2.627 4.770 9.591 16.591	4.786 4.811 4.647 4.488	4.219 4.156 4.014	4.161 4.105 3.986	4.146 4.081 3.942	4.105 4.060 3.930	4.091 4.051 3.922	4.086 4.050		

p = 0.18

i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}	d_{5-6}
6.032 8.637 9.29	5.089 4.863 4.785	4.322 4.230	4.232 4.174	4.142	4.110

p = 0.215

i	d_{1-2}	d_{2-3}	
0.469 0.898 2.088 3.067	4.905 4.985 5.024 4.992	4.332	

p = 0.32									
i	d 1—2	d 2—3	d 3—4	d 4—5	d 5—6	d 6—7	d 7—8	d 8—9	d 9—10
0.429	4.013	3.047							
1.486	4.349	3.863	3.802	4.765					
3.387	4.590	4.238	4.178	4.140	4.125	4.111	4.092	4.075	
6.092	4.748	4.464	4.401	4.465	4.340	4.329	4.320		
12.022	4.818	4.565	4.505	4.465	4.450	4.436			
18.394	4.790								

p = 0.303									
i	d 1—2	d 2—3	d 3—4	d 4—5	d 5—6	d 6—7	d 7—8	d 8—9	
1.070	4.440								
2.040	4.595	4.111	4.002	3.961	3.930	4.924	4.915		
5.22	4.787	4.470	4.405	4.375	4.342				
3.26	4.685	4.231	4.145	4.110	4.075	4.070	4.060		
10.76	4.805	4.481	4.425	4.400	4.380				
22.95	4.756	4.433	4.350	4.309	4.275				
0.527	4.285								

p = 0.30									
i	d 1—2	d 2—3	d 3—4	d 4—5	d 5—6	d 6—7	d 7—8	d 8—9	d 9—10
0.304	4.194								
0.396	4.244								
0.815	4.437								
1.408	4.549	4.069	3.890	3.873	4.862	3.834			
1.906	4.609	4.186	4.045	4.038	4.981	3.952	3.934	3.924	3.897

p = 0.61										
i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}	d_{5-6}	d_{6-7}	d_{7-8}	d_{8-9}	d_{9-10}	d_{10-11}
3.82	4.120	3.994	3.950	3.926	3.916	3.905	3.896	3.895	3.890	3.890
6.06	4.672	4.545	4.501	4.476	4.466	4.457	4.450	4.445		
19.65	5.316	5.171	5.115	5.086	5.066					
32.06	5.530	5.386	5.331	5.300	5.278					
35.87	5.605	5.461	5.405	5.376	5.351					
p = 0.495										
i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}	d_{5-6}	d_{6-7}	d_{7-8}	d_{8-9}	d_{9-10}	
3.43	4,432	4.215	4.126	4.092	4.075	4.067	4.050	4.091	4.032	
6.44	4,730	4.515	4.424	4.391	4.376	4.366	4.352	4.342	4.335	
12.86	4,915	4.711	4.627	4.566	4.570	4.625	4.641			
24.43	5,041	4.833	4.776	4.767	4.805	4.861	4.915			
33.63	5,171	5.033	4.951	4.940	4.992	5.082				
p = 0.40										
i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}	d_{5-6}	d_{6-7}	d_{7-8}	d_{8-9}	d_{9-19}	
3,43	4,518	4,250	4,176	4,127	4,098	4.077	4.036	4.037	4.033	
6,41	4,752	4,513	4,437	4,378	4,354	4.333	4.304			
12,28	4,854	4,598	4,530	4,466	4,437	4.418				
19,49	4,828	4,570	4,493	4,443	4,411					
29,15	4,747	4,450	4,374	4,323	4,299					
p = 0.37										
i	d_{1-2}	d_{2-3}	d_{3-4}	d_{4-5}	d_{5-6}	d_{6-7}	d_{7-8}	d_{8-9}	d_{9-10}	d_{10-11}
1.28	4.077	3.701	3.628	3.593	3.571	3.558	3.457	3.539	3.530	
2.22	4.341	4.088	4.015	3.987	3.958	3.947	3.931	3.924	3.918	
2.64	4.453	4.208	4.127	4.093	4.079	4.063	4.051	4.045	4.038	

Tabelle XII.

Quotient homologer Schichtabstände im Wasserstoff bei konstantem Druck und versch. Stromstärke.

$Q = 16.66\ (cm)^2$

p	i	homologe Schichtabst.	Quotient
	3.43 — i_1 6.41 i_2	4.518 4.752	0.951
	i_1 i_2	4.250 4.513	0.942
0.46	i_1 i_2	4.176 4.437	0.941
	i_1 i_2	4.127 4.378	0.942
	i_1 i_2	4.098 4.354	0.941
	i_1 i_2	4.077 4.333	0.941
	i_1 i_2	4.036 4.304	0.940

$Q = 16.66\ (cm)^2$

p	i	homologe Schichtabst.	Quotient
	3.82 = i_1 35.87 = i_2	4.120 5.605	0.730
	i_1 i_2	3.994 5.461	0.731
0.61	i_1 i_2	3.950 5.405	0.731
	i_1 i_2	3.926 5.376	0.730
	i_1 i_2	3.916 5.351	0.732

Untersuchungen im Sauerstoff.

In Uebereinstimmung mit den von Peutscheff und Wehner gefundenen Resultaten ergaben die hier im Sauerstoff angestellten Untersuchungen, daß die positive Glimmlichtsäule im Sauerstoff sehr lichtschwach ist, daß aber auch hier in bestimmten Strom- und Druckintervallen eine Schichtung auftritt, die allerdings bei weitem nicht so scharf und intensiv ausgeprägt ist wie im Stickstoff und Wasserstoff. Die Intensität der Schichtung und der Schichten selbst ist in hohem Maße abhängig von der Weite des Beobachtungsrohres. Sie ist um so klarer und um so schärfer ausgeprägt, je größer der Querschnitt ist. Der für diese Untersuchungen benutzte Sauerstoff wurde auf trockenem Wege hergestellt aus Kaliumpermanganat. Es wurde versucht auch im Sauerstoff für die verschiedenen Beobachtungsrohre den Schichtungsbereich der positiven Glimmentladungen festzulegen. Wegen der geringen Entladungensintensität aber sowie wegen der wenig intensiven Ausprägung der Schichten selbst konnte der Versuch nicht mit einer derartigen Genauigkeit und Exaktheit zu Ende geführt werden wie es vorher im Stickstoff möglich war. In allen Beobachtungsrohren wurde auch im Sauerstoff in bestimmten Strom- und Druckintervallen eine Schichtung der positiven Glimmlichtsäule festgestellt und beobachtet, daß der Schichtungsbereich wächst auch im Sauerstoff mit Zunahme des Rohrquerschnittes. Zum Schluß wurden noch in ein und demselben Beobachtungsrohre vergleichende Untersuchungen angestellt bezüglich des Schichtungsbereiches im Stickstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, die ergaben, daß der Schichtungsbereich im Sauerstoff stets größer ist als im Stickstoff, stets dagegen kleiner als im Wasserstoff. Nebenher wurde sowohl im Stickstoff, wie im Wasserstoff als auch im Sauerstoff jeweils bei gleicher Stromdichte nnd konstantem Druck der mittlere Schichtabstand ermittelt, der nach Willows nie größer werden kann als der Durchmesser des Beobachtungsrohres. Die Ausmessnng der Schichtabstände wurde zu diesem Zwecke direkt am Entladungsrohre mit Hilfe einer Millimeterskala durchgeführt. Bei einem Drucke von 0,3 mm Hg und einer Stromdichte von zirka 2×10^{-3} Amp. pro cm^2 ergab sich ein mittlerer Schichtabstand in dem Beobachtungsrohr von 1,5 cm^2 Querschnitt im Wasserstoff von zirka 10 mm, im Stickstoff von etwa 11,4 und im Sauerstoff von etwa 13,0 mm. In dem Beobachtungsrohr von 15,9 cm^2 Querschnitt ergab sich bei einem Drucke von 0,27 bis 0,28 mm Hg und einer Stromdichte von 1×10^{-3} Amp. ein mittlerer Schichtabstand im Sauerstoff von 24,0 und im Stickstoff 32,5 mm.

Damit wurden die vorliegenden Untersuchungen abgeschlossen. Das Ergebnis derselben ist, daß im Stickstoff sowohl wie im Wasserstoff als auch im Sauerstoff in allen Rohrquerschnitten in bestimmten Strom- und Druckintervallen stets eine Schichtung der positiven Glimmentladung auftritt, und daß der Schichtungsbereich sowohl wie die einzelnen Schichtabstände in der positiven Glimmlichtsäule in hohem Maße abhängig sind von der Stromstärke, dem Druck und dem Rohrquerschnitt.

Ich, Johann Heinrich H o f f s c h l a g, katholischer Konfession und preußischer Staatsangehörigkeit, wurde als Sohn des Zellers Bernhard Hoffschlag und seiner Gattin Maria, geb. Kondering, am 2. November 1885 zu Lünten Kreis Ahaus in Westfalen geboren. Nach Besuch der dortigen Landschule und Absolvierung der Rektoratschule in Vreden besuchte ich die Gymnasien in Münster und Coesfeld, wo ich mir im Jahre 1908 das Reifezeugnis erwarb. Meine Studienzeit verbrachte ich in Münster, Göttingen und Basel. Vorlesungen hörte ich in erster Linie bei den Professoren G. Schmidt, Konen und Matthies in Münster, bei den Professoren Rieke und Wallach in Göttingen und bei den Professoren Hagenbach und Matthies in Basel. Die Dissertationsarbeit wurde angeregt und fertiggestellt unter Anleitung des Herrn Prof. Dr. W. Matthies in den physikalischen Laboratorien in Münster und Basel. Das Examen rigorosum bestand ich am 10. Juli 1919. Noch im Sommer 1919 widmete ich mich dann dem Studium der Land- und Volkswirtschaft und bestand im Frühjahr 1920 in Göttingen das landw. Diplomexamen. Seit August 1920 bin ich angestellt als Geschäftsführer beim Westf. Bauernverein in Münster und seither beauftragt mit der Geschäftsführnng der Zweigstelle des Westf. Bauernvereins in Borken Westf.